

# ANIMAL SPIRITS Y NO-ERGODICIDAD PARA COVID 19 EN ALGUNOS ESTADOS DE MÉXICO

Genaro Aguilar Gutiérrez\*

Sergio Lagunas Puls\*\*

(Recibido: julio, 2020/Aceptado septiembre 2020)

## Resumen

A partir de datos día a día de los fallecimientos por COVID-19 en México, se desarrolla un modelo de ajuste para la predicción de la cima de fallecimientos en cuatro estados de México; 2 con vocación turística y 2 con vocación industrial. Se pronostica que la cima o “pico” de fallecimientos ocurrirá el día 107 de la pandemia para el estado de Quintana Roo y los días 68, 109 y 72 para los estados de Baja California Sur, Estado de México y Nuevo León. Sin embargo, los hallazgos sugieren que el comportamiento no-ergódico es característico a fenómenos que dependen del comportamiento humano, debido al “animal spirits” que conduce a la irracionalidad en la toma de decisiones de las personas. La evidencia apunta a la necesidad de construcción de hipótesis alternativas, para analizar el comportamiento humano, ante fenómenos de incertidumbre.

*Palabras clave:* incertidumbre, ergodicidad, animal spirits

*Clasificación JEL:* C16 C51 C53

---

\*Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Estatal de Campinas de São Paulo, Brasil. Profesor Titular C de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional

\*\*Doctor en Desarrollo Económico, Profesor Universidad del Caribe

# ANIMAL SPIRITS AND NON-ERGODICITY FOR COVID 19 IN SOME STATES OF MEXICO

Genaro Aguilar Gutiérrez\*

Sergio Lagunas Puls\*\*

(Recibido: julio, 2020/Aceptado septiembre 2020)

## Abstract

Using day-to-day data of the deceases due to COVID-19 throughout Mexico, a preciseness model for prediction of the decease spike is developed in four states of Mexico; 2 of which have a touristic tendency and 2 of which have an industrial tendency. It is predicted that the spike or the “top” of deceases will occur the day 107 of the pandemic in the state of Quintana Roo, and the days 68, 109 and 72 in the states of Baja California Sur, Mexico and Nuevo León. However, findings suggest the non-ergodic behaviour is characteristic to phenomena that rely on human behaviour, due to the “animal spirits” which conduct to irrationality during someone’s decision-making. The evidence points to the necessity of the construction of alternative hypothesis to analize human behaviour in the face of phenomena of uncertainty.

*Key words:* uncertainty, ergodicity, animal spirits

*JEL:* C16, C51, C53

## 1. Introducción

Existen diferentes propuestas teóricas para comprender tanto el surgimiento como la dinámica de las crisis económicas: en ellas, los factores y mecanismos que las originan reciben diferentes pesos y matices, lo que da lugar a interpretaciones que a menudo no son armoniosas. Una de las preocupaciones de la ciencia económica, desde hace doscientos años, es la predicción del punto exacto del auge económico o su contrapartida, la cima del ciclo (Blanchard, 2016, 2017; Lucas Jr, 2003; Stiglitz, 2015, 2018). En ese contexto, la adopción de nuevos modelos de equilibrio general dinámico estocástico para lograr tal fin ha sido ampliamente criticada (Hendry y Muellbauer, 2018; Stiglitz, 2018, Korinek, 2017).

La modelación matemática de los últimos 50 años se ha esforzado en encontrar un método predictivo preciso, con recurrentes fallas que llegan a confirmarse en el momento del auge o de la caída económica; incluso “índices de sentimiento” para tratar de medir el “Animal Spirits” que Keynes sugirió, han sido construidos para cuantificar cómo la “racionalidad” determina la evolución de variables clave (Soo, 2015).

Durante la crisis de salud originada por la emergencia de un nuevo Coronavirus que provoca la enfermedad conocida como COVID19, la gran mayoría de las investigaciones de carácter médico se han centrado en analizar el origen, manifestaciones y formas de enfrentar la pandemia (Huang *et al.*, 2020; Jiang *et al.*, 2020).

Este artículo tiene como objetivo analizar si es posible predecir el momento preciso de la cima de fallecimiento y a partir de la discusión de los resultados rescatar elementos teóricos para la comprensión del funcionamiento de las economías de mercado. La hipótesis, basada en un concepto teórico keynesiano

\*Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Estatal de Campinas de Sao Paulo, Brasil. Profesor Titular C de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional

\*\*Doctor en Desarrollo Económico, Profesor Universidad del Caribe

(el “Animal Spirits”) plantea la incapacidad de los instrumentos teóricos neoclásicos para comprender y predecir el funcionamiento de los mercados y, por extensión, hablaremos de la incapacidad técnica de pronosticar con exactitud la fecha del punto máximo de fallecimientos. El Animal Spirits alude a un comportamiento irracional (Guerrazzi, 2015; Farmer, 2013; Akerlof y Shiller, 2010): una persona puede estar en confinamiento durante 45 días y, de pronto, sin ninguna racionalidad, salir en medio de la pandemia, contagiarse y fallecer.

Se desarrolla un modelo de ajuste a simulación para la cúspide de fallecimientos por COVID-19 en 4 estados de México, 2 con perfil económico turístico, Quintana Roo y Baja California Sur; y 2 con vocación industrial, Nuevo León y Estado de México, a partir de los datos de número de fallecimientos, día a día, desde el primer registro y hasta el día 15 de mayo en la estadística oficial. El ejercicio empírico se llevó a cabo antes de la cúspide de contagios y fallecimientos (tanto nacional como de los 4 estados).

A partir de los hallazgos, el artículo discute la no-ergodicidad de los fenómenos donde interviene la decisión de las personas, basado en el comportamiento no racional de los seres humanos; el “Animal Spirits”. Se sugiere que, para avanzar en la consolidación de la ciencia económica y de la proyección del comportamiento de fenómenos en donde la reacción humana es relevante, los modelos no pueden partir de la hipótesis de un comportamiento estocástico.

## 2. Metodología

La variable de interés o dependiente son los fallecimientos relacionados a COVID-19, la fuente de datos provino de la Secretaría de Salud federal, la cual se concentra de los registros de 475 unidades monitores que conforman el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedad Respiratoria Viral

La información correspondió a cuatro estados de México, sin embargo, las pruebas de ajuste se agruparon de acuerdo con el perfil económico: Baja California Sur y Quintana Roo por su vocación turística, Estado de México y Nuevo León por su vocación industrial.

Se valoró el ajuste a dos tipos de distribuciones, la distribución exponencial dado el incremento que de una pandemia podría esperarse y la distribución logística, esta última porque también considera un incremento inicialmente acelerado, pero con disminución en la velocidad de aumento a medida en que se alcanza la cúspide de casos o fallecimientos (Tátrai y Várallyay, 2020).

Considerando que los análisis de este tipo corresponden a una eventualidad generada por un virus nuevo, el criterio para distinguir cuál tipo de distribución se ajustaba mejor, fue la prueba conocida como Anderson-Darling de acuerdo con los valores críticos planteados por Stephens, 1979 con parámetros desconocidos y con significancia cuando  $\alpha = 0.05$ .

El valor crítico para distribución logística fue:

$$A^2 \leq 2.290$$

También considerando lo establecido por Stephens (1979), el valor crítico para la distribución exponencial fue:

$$A^2 \leq 1.321$$

Los resultados para las pruebas de ajuste fueron los siguientes:

Como se observa en el cuadro 1, para ambos grupos se acepta el ajuste para una distribución logística, rechazando en consecuencia la aplicación exponencial que en uno de los casos superó el valor crítico. Para la simulación, se consideran los datos cuya temporalidad cubre de la fecha de los primeros reportes, hasta el informe federal con corte de las 13:00 hrs. del 15 de mayo de 2020.

Con la información ordenada cronológicamente (por día), se procedió a obtener curvas y ecuaciones de ajuste logístico con la forma siguiente (Berger, 1981):

**Cuadro 1***Inicio de información y resultados en pruebas de ajuste.*

Grupo	Primeros fallecimientos registrados	Anderson-Darling para decesos relacionados a COVID-19	
		Logística	Exponencial
Vocación Turística	26/marzo/2020	1.196	2.121
Vocación Industrial	18/marzo/2020	0.942	1.299

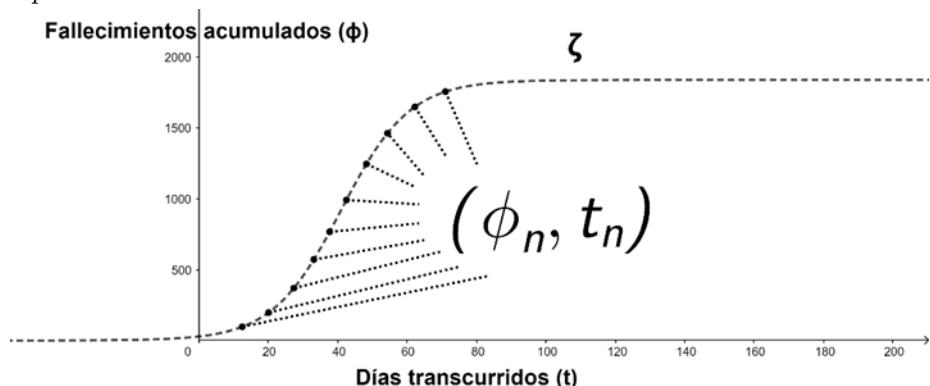
*Fuente:* elaboración propia con datos de SALUD, 2020

$$f(t) = \frac{\zeta}{1 + e^{-kt}} \quad (1)$$

En donde:

 $\zeta$  = valor máximo para la cúspide (máximos casos o fallecimientos). $e$  = constante de Euler. $k$  = pendiente de la curva logística. $t$  = valor o unidad de tiempo (días).

Se ubicaron gráficamente los puntos observados de los decesos ( $\phi_n$ ) y del número consecutivo de días ( $t_n$ ) desde las primeras incidencias (cuadro 1), a partir de lo cual se obtiene ajustes logísticos que se representaron de la forma siguiente:

**Figura 1***Curva logística a partir de coordenadas observadas.**Fuente:* Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 1, la curva logística pasa por una cúspide o valor máximo obtenido  $\zeta$  a partir de cada ecuación (Batista, 2020), ubicándose en el número de día que correspondería alcanzar, precisamente, la cúspide comúnmente llamada “pico” de la infección. Cabe destacar que la velocidad de los primeros puntos de inicio de contagios presenta en el modelo dinámico mayor velocidad y que a medida que avanza el tiempo la velocidad de contagios se reduce.

Se complementan los ajustes, con curvas de distribución (Stilianakis *et al.*, 1998), también logísticas,

para cada uno de los grupos y estados analizados, empleando la función para densidad (Oral, 2006).

$$f(t) = \frac{e^{-\left(\frac{t-\omega}{\sigma}\right)}}{\sigma \left(e^{\frac{-(t-\omega)}{\sigma}} + 1\right)^2} \quad (2)$$

En donde:

$e$  = constante de Euler.

$t$  = valor o unidad de tiempo (días).

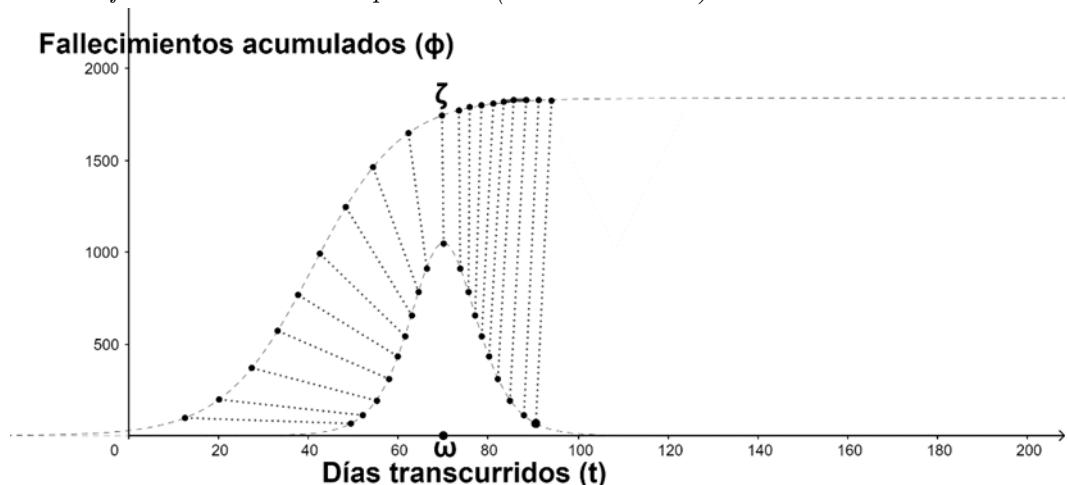
$\omega$  = forma, días para alcanzar el valor máximo para la cúspide.

$\sigma$  = escala, estimada a partir de los datos originales.

Dado que cualquier estimado a partir de la ecuación (2) estará expresado en valores probabilísticos, se presenta a escala junto con la curva de ajuste (1) en el mismo panel gráfico, la curva de distribución con la finalidad de apreciar la evolución de los fallecimientos, pasando por la cúspide  $\zeta$ , continuando con una menor velocidad (Pang *et al.*, 2019), hasta completar el descenso de la curva de distribución <sup>1</sup>.

**Figura 2**

*Curvas para identificación del avance epidémico (casos o decesos).*



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se incluirá en paneles gráficos, curvas logísticas y de distribución, para los dos estados que conforman cada grupo, identificando el número de día  $t$  para alcanzar el acmé o cúspide de cada curva.

### 3. Resultados y discusión

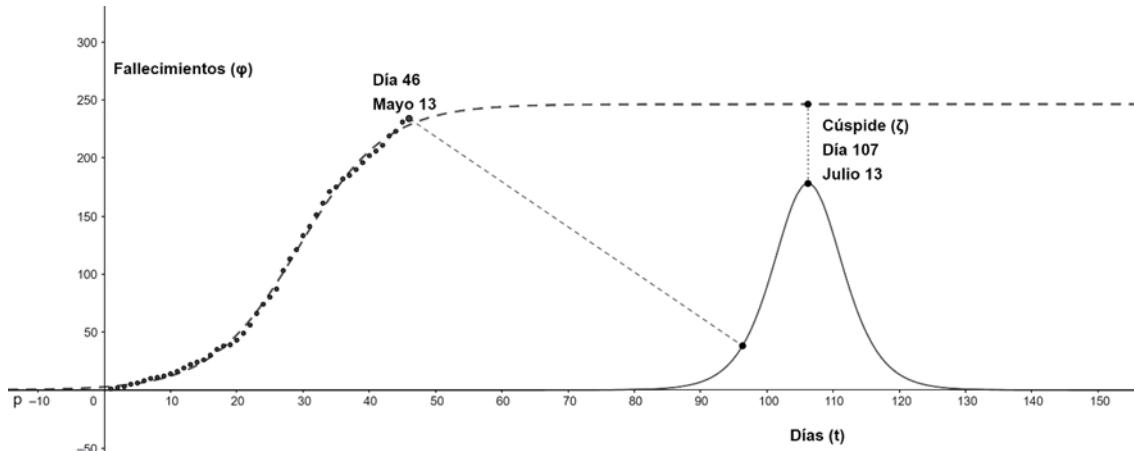
Las gráficas muestran la fecha de referencia o del último fallecimiento que se conoció al 15 de mayo de 2020 así como la expectativa para la fecha en que se alcanzará la cúspide, también se agregan ecuaciones que representan el ajuste logístico para cada entidad. Se inicia con los estados con vocación turística, en primer lugar, Quintana Roo y después Baja California Sur, seguidos por la Ciudad de México y Nuevo León.

La ecuación que representa el ajuste en Quintana Roo es la siguiente:

<sup>1</sup>Se desarrollaron modelos dinámicos que presentan la movilidad del número de fallecimientos y su avance al paso de los días.

**Figura 3**

*Curvas de Quintana Roo para cúspide en fallecimientos.*  
**Quintana Roo**



Fuente: Elaboración propia.

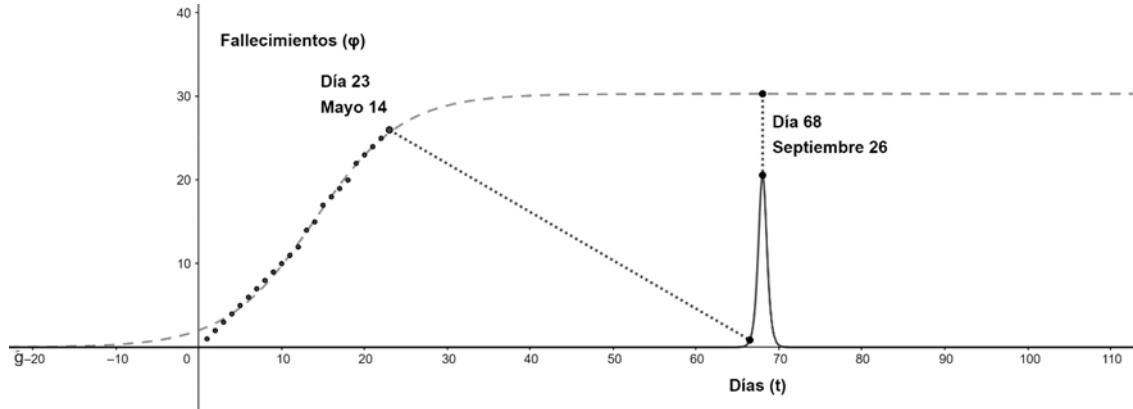
$$Decesos = \frac{246.34}{1 + 89.23e^{(-0.15t)}} \quad (3)$$

Con la ecuación anterior se calculó que la cúspide de los fallecimientos se alcanzaría para el día 13 de julio. ¿De qué depende que esto ocurra o no? Del animal spirits<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Algunos autores han desarrollado modelos del comportamiento humano, intentando anticipar el “Animal Spirits” y a partir de él, predecir la evolución de algunas variables. Soo, 2015 desarrolló un modelo para prever la evolución de precios en el mercado inmobiliario en los Estados Unidos a partir de la evolución del “sentimiento” de las personas. La autora cuantificó el efecto predicho del sentimiento de las personas sobre los precios de las viviendas a lo largo del tiempo usando un índice compuesto y un modelo econométrico del siguiente tipo:  $\Delta p_t = \alpha_0 + \sum_{k=0}^K b_k L^k \Delta s_{n,t} + \gamma x_t + \delta_m \nu_t$ , donde: una letra minúscula representa un operador de registro ( $p_t = \ln P_t$ ) y delta mayúscula denota la primera diferencia tal que  $\Delta p_t = \ln P_t - \ln P_{t-1}$ .  $L^k$  era un operador de rezago tal que retrasa  $L^k \Delta s_{n,t} = \ln S_{n,t-k} - \ln S_{n,t-k-1}$ . El vector  $x_t$  contiene los controles vectoriales para cambios en los fundamentos observables que impulsaban los precios de las viviendas en general y podían coincidir con el aumento de la compra de viviendas en determinadas estaciones del año, por lo que la autora incluyó un conjunto de efectos mensuales  $m$ , para controlar los cambios de precios por estacionalidad. El término de error  $\nu_t$  fue considerado como heterocedástico a lo largo del tiempo y correlacionado en serie. Con todo y esta sofisticación, la autora concluye: “... solo pudimos anticipar en uno, de cada tres meses” (Soo, 2015)

**Figura 4**

*Curvas de Baja California Sur para cúspide en fallecimientos.*  
**Baja California Sur**



Fuente: Elaboración propia.

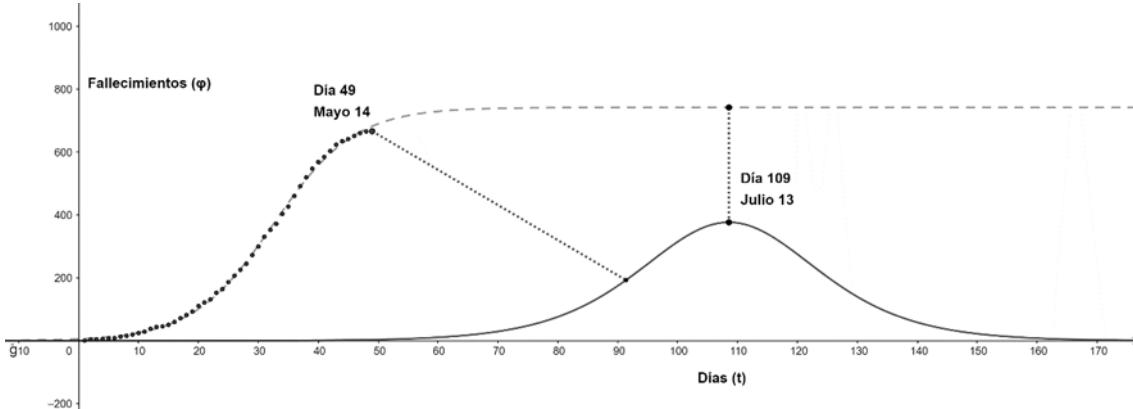
Para el estado de Baja California Sur, el modelo de ajuste fue el siguiente:

$$Decesos = \frac{30.32}{1 + 13.89e^{(-0.10t)}} \quad (4)$$

Con la ecuación anterior se encontró que la cúspide de los fallecimientos se alcanzaría para el día 26 de septiembre.

**Figura 5**

*Curvas del Estado de México para cúspide en fallecimientos.*  
**Estado de México**



Fuente: Elaboración propia.

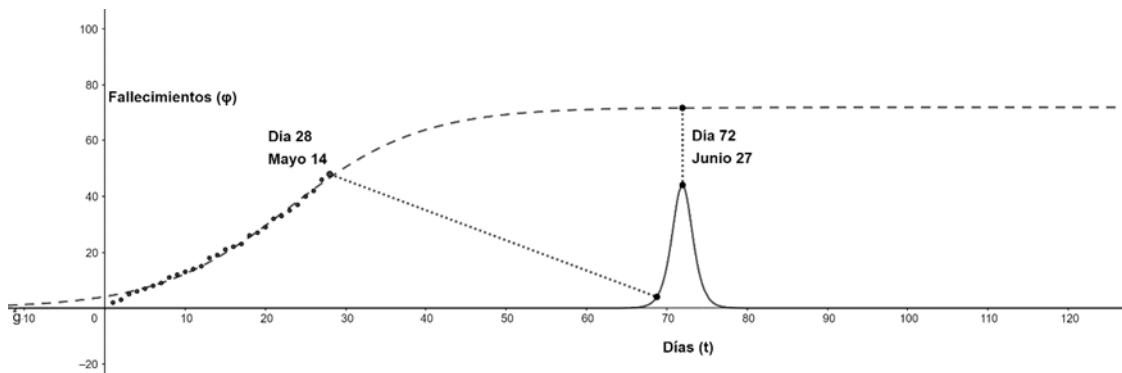
El modelo para el Estado de México, fue el siguiente:

$$Decesos = \frac{742.51}{1 + 122.02e^{(-0.15t)}} \quad (5)$$

Con la ecuación anterior se conoció que la cúspide de los fallecimientos se alcanzaría para el día 13 de julio.

**Figura 6**

Curvas de Nuevo León para cúspide en fallecimientos.

**Nuevo León**

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación que modela los fallecimientos en Nuevo León fue la siguiente:

$$Decesos = \frac{71.92}{1 + 16.38e^{(-0.12t)}} \quad (6)$$

Por lo que este estado alcanzaría el máximo de fallecimientos para el 27 de junio.

A pesar de que los resultados estadísticos “no dejarían” lugar a dudas sobre la evolución de la pandemia y sobre la eventual fecha de la “cúspide” o “cima” de los decesos sabemos que, sin embargo, tales fechas tendrán un margen de error que puede no ser despreciable.

El análisis del comportamiento humano no se puede reducir a un ejercicio de ajuste de curvas, con un conjunto arbitrariamente elegido de momentos generados por el modelo en contraste con la realidad. La mayoría de los fenómenos humanos importantes no tienen un comportamiento regular; es decir no son procesos estocásticos estacionarios, como es el caso de contagios o fallecimientos durante una pandemia y la distribución de probabilidad no es constante ni se puede predecir en función del comportamiento pasado: la decisión de un individuo, de salir a la calle, luego de un confinamiento 45 ó 50 días en casa; no se puede anticipar como un comportamiento probabilístico, porque es irracional.

En segundo lugar, las pandemias, como las crisis económicas, son raros eventos de cola que introducen mucha asimetría y colas gruesas en las series de tiempo. Hacer coincidir la varianza de pronóstico de una variable en un modelo con el comportamiento real de la misma, no es garantía de que en el futuro dicha varianza tendrá el mismo comportamiento.

Además, para un conjunto de momentos dado, no existe una estadística bien definida para medir la bondad de ajuste de un modelo estocástico:

*“... Whether the moments generated by the model satisfactorily match the moments observed in the real world is often determined by an eyeball comparison and is largely at the discretion of the reader. The scientific rigor of this method is questionable” (Korinek, 2017)*

Los modelos estocásticos con frecuencia imponen una serie de restricciones que están en conflicto directo con la evidencia del comportamiento de los individuos. En casos como las pandemias o las crisis económicas, una teoría rigurosa se basa en cómo se comportan realmente las personas y en cómo funcionan efectivamente los mercados o las sociedades. Por ello, una buena política pública requiere de una comprensión de los determinantes subyacentes del comportamiento humano. La teoría ergódica es el estudio matemático del comportamiento promedio a largo plazo en sistemas dinámicos. Si el comportamiento humano es sistemáticamente irracional, entonces no es ergódico y no existe modelo que lo pueda pronosticar. Por ello sabemos que las fechas de la cúspide de fallecimientos, calculadas a partir de un procedimiento matemático riguroso formulado en la sección anterior, tendrán fallas de pronóstico.

#### 4. Conclusiones: no-ergodicidad de la pandemia, y de las crisis económicas

Los cambios en las expectativas futuras generan “ruido” que incide en la capacidad de predecir adecuadamente el comportamiento de variables donde interviene la “racionalidad” de las personas. Coloquialmente, esto se puede explicar de una manera simple: las personas pueden permanecer confinadas durante 45 días consecutivos, sin exposición al contagio. De pronto, un buen día un individuo decide salir de la casa sin ningún motivo, se contagia, fallece y quizás contagia a varias personas más. Este comportamiento irracional conduce a la imposibilidad de predecir el momento exacto de la cima de contagios o de fallecimientos.

Una economía monetaria de producción no tiene ciclos predefinidos, lo que implica la imposibilidad de predecir su funcionamiento en base a eventos pasados, pero sí podemos comprender su dinámica y verificar que tiene movimientos de autoexpansión y valorización permanente. Es decir, el capital se mueve incesantemente entre el dinero, los activos financieros y el conjunto de bienes, expandiendo sus objetos de valoración. Hay, por lo tanto, una tensión entre la expansión y la crisis del capitalismo y sus vaivenes permanentes se derivan tanto de la valoración productiva como financiera. Al comprender la existencia de dicha tensión, deducimos que el sistema económico es complejo y se basa en conceptos comúnmente ignorados por la corriente principal de la economía, tales como la no ergodicidad, la irreversibilidad del tiempo histórico, las incertidumbres, las incógnitas informativas, la racionalidad limitada y procesal de los agentes, la preferencia por la liquidez, las expectativas y el papel de las instituciones en la configuración de dicho sistema.

Algunos de estos conceptos ayudan a la comprensión de los resultados estadísticos arrojados por nuestro modelo. Pero no solo eso: son principios fundamentales para comprender las crisis económicas. Es decir, aquí hablamos de la cúspide de fallecimientos ante un evento de salud pública (la pandemia), pero tratar de cuantificarla equivale a tratar de cuantificar la cima del ciclo económico.

El núcleo de las ideas de Keynes ronda alrededor del concepto de incertidumbre y del *Animal Spirits*, lo cuál se ha estudiado muy poco en México. Keynes basa su teoría en el concepto de incertidumbre sobre el futuro, que requiere un proceso estocástico no ergódico. En contraste, la teoría neoclásica tradicional sostiene que la crisis económica es un evento anormal, excepcional, transitorio y supone un modelo de equilibrio general donde el sistema es regular y predecible con respecto al comportamiento pasado de los agentes económicos. Por lo tanto, esa teoría enfatiza la capacidad de hacer predicciones. Los preceptos económicos dominantes argumentan que la teoría no necesita ser realista, solo capaz de hacer buenas predicciones. En la columna del análisis Keynesiano se estudia una economía monetaria de producción, donde no existen mecanismos para garantizar que el pasado sirva como guía para la toma de decisiones en el futuro, de ahí el sentido de no ergodicidad. Lo contrario ocurre dentro de la lógica neoclásica, ¿por qué los economistas de esa corriente no previeron la crisis económica de 2008-2009 o la de 2020? ¿La teoría neoclásica habría perdido su capacidad de predecir? ¿Son válidos los argumentos keynesianos y de Minsky que insisten en la inestabilidad de una economía monetaria y la no ergodicidad del mundo?

Al partir de la no ergodicidad de las actividades humanas (como en el caso de la crisis de salud, donde no se puede predecir el comportamiento irracional de quienes en medio de la pandemia de pronto salen a la calle, hacen reuniones o fiestas), entendemos que la incertidumbre no puede ser modelada como un riesgo probabilístico y entender las crisis como fallas del mercado.

La teoría neoclásica es incapaz de comprender la dinámica de las economías de mercado al asumir ergodicidad (entre otros axiomas) y, por lo tanto, conduce a predicciones que no reflejan el verdadero funcionamiento sistémico de la economía. De la misma forma, la no-ergodicidad de la pandemia que está enfrentando el mundo tiene que ver con el comportamiento irracional y por lo tanto impredecible de la conducta humana.

## Referencias

- Akerlof, G. A. & Shiller, R. J. (2010). *Animal spirits: How human psychology drives the economy, and why it matters for global capitalism*. Princeton university press.
- Batista, M. (2020). Estimation of the final size of the coronavirus epidemic by the SIR model. *Online paper, ResearchGate*, 1-12.
- Berger, R. (1981). Comparison of the Gompertz and Logistic Equations to Describe Plant Disease Progress. *Phytopathology*, 71(7), 716-719.
- Blanchard, O. (2016). Do DSGE models have a future? *Revista de Economía Institucional*, 18(35), 39-46.
- Blanchard, O. (2017). The need for different classes of macroeconomic models. *Peterson Institute for International Economics, Realtime Economics Watch January 12th*. %5Curl%7Bhttps://piie.com/blogs/realtim-economic-issues-watch/need-different-classes-macroeconomicmodels%7D
- Farmer, R. E. (2013). Animal spirits, financial crises and persistent unemployment. *The Economic Journal*, 123(568), 317-340.
- Guerrazzi, M. (2015). Animal spirits, investment and unemployment: An old Keynesian view of the Great Recession. *Economia*, 16(3), 343-358.
- Hendry, D. F. & Muellbauer, J. N. (2018). The future of macroeconomics: macro theory and models at the Bank of England. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1-2), 287-328.
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X. et al. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The lancet*, 395(10223), 497-506.
- Jiang, F., Deng, L., Zhang, L., Cai, Y., Cheung, C. W. & Xia, Z. (2020). Review of the clinical characteristics of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Journal of general internal medicine*, 1-5.
- Korinek, A. (2017). Thoughts on DSGE Macroeconomics: Matching the Moment, But Missing the Point? *But Missing the Point*.
- Lucas Jr, R. E. (2003). Macroeconomic priorities. *American economic review*, 93(1), 1-14.
- Oral, E. (2006). Binary regression with stochastic covariates. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 35(8), 1429-1447.
- Pang, F.-R., Luo, Q.-H., Hong, X.-Q., Wu, B., Zhou, J.-H., Zha, W.-T. & Lv, Y. (2019). The study on the early warning period of varicella outbreaks based on logistic differential equation model. *Epidemiology & Infection*, 147.
- SALUD. (2020). *Información referente a casos COVID-19 en México*. Consultado el 15 de mayo de 2020, desde %5Curl%7Bhttps://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-referente-a-casos-covid-19-en-mexico%7D
- Soo, C. (2015). Quantifying animal spirits: news media and sentiment in the housing market. *Ross School of Business Paper*, (1200).
- Stephens, M. A. (1979). *The anderson-darling statistic* (inf. téc.). STANFORD UNIV CA DEPT OF STATISTICS.
- Stiglitz, J. E. (2015). *Towards a general theory of deep downturns* (inf. téc.). National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w21444>
- Stiglitz, J. E. (2018). Where modern macroeconomics went wrong. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1-2), 70-106.
- Stilianakis, N. I., Perelson, A. S. & Hayden, F. G. (1998). Emergence of drug resistance during an influenza epidemic: insights from a mathematical model. *Journal of Infectious Diseases*, 177(4), 863-873.
- Tátrai, D. & Várallyay, Z. (2020). COVID-19 epidemic outcome predictions based on logistic fitting and estimation of its reliability. *arXiv preprint arXiv:2003.14160*.